
Formalisation de la négociation pour la planification d'une entreprise virtuelle

L.Ouzizi^{*1}, — D. Anciaux^{*2}, — M. Chafai^{3}, — M. C. Portmann⁴
et — F. Vernadat^{*5}**

¹ENSAM BP4024 Meknès, Maroc

^{*}MACSI Project, INRIA-Lorraine & LGIPM

ISGMP, Ile du Saulcy, F-57045 Metz cedex 1, France

^{**}Faculté des Sciences, Université My Ismail BP 4010 Meknès Maroc

¹e-mail: louzizi@yahoo.fr ; ²e-mail: anciaux@agip.sciences.univ-metz.fr ;

³e-mail : mchafai@fsmek.ac.ma ; ⁴e-mail: portmann@loria.fr ;

⁵e-mail : vernadat@enim.fr

RÉSUMÉ. Le besoin des entreprises de se structurer en entreprise virtuelle les incite à utiliser une plus grande coopération et coordination. Comme moyen de coordination, nous avons opté dans ce travail pour la négociation. L'objet du présent article est de présenter un formalisme de la négociation pour la planification dynamique d'une entreprise virtuelle. Les partenaires de l'entreprise virtuelle utilisent la règle du jeu gagnant-gagnant pour assurer un flux continu de la production. Pour la modélisation de l'entreprise virtuelle, nous utilisons les systèmes multi agents. Chaque nœud est représenté (vis à vis de l'extérieur du nœud) par son agent négociateur. Les négociations sont formalisées en utilisant les Statecharts.

ABSTRACT. The business need to be structured as a virtual enterprise pushes companies to make use of a greater level of co-operation and coordination. As a means of coordination, negotiation has been chosen in this work. The object of this paper is to present a formalism for negotiation in dynamic planning of a virtual enterprise. The partners use the win-win rule of the game to ensure a continuous flow of the production. To model the virtual enterprise, we use the multi agent approach. Each enterprise is represented by its negotiator agent. The negotiations are formalized using Statecharts.

MOTS-CLÉS : entreprise virtuelle, négociation, planification, Statecharts.

KEYWORDS: virtual enterprise, negotiation, planning, Statecharts.

1. Introduction

Une entreprise virtuelle (**EV**) est un ensemble d'unités et de processus au sein d'un réseau de chaîne logistique, se composant d'un ensemble d'unités de production coopérantes entre elles, d'unités d'entreposage et d'unités de transport, l'ensemble se comportant comme une entreprise unique caractérisée par une coordination forte et par la coopération pour atteindre des buts mutuels [MAK96].

Un des problèmes majeurs de l'entreprise virtuelle est sa planification. En effet, la planification d'une EV consiste à assurer une cohérence entre les plannings des différents partenaires de la chaîne, chose qui reste encore complexe du fait que :

- Chaque partenaire a des contraintes de dates de livraison de produits finis et de dates de réception de la matière première ;
- Chaque partenaire a un plan de charge à faire avec des capacités limitées ;
- Les contraintes de coût qui varient en fonction de la quantité produite, des prix des fournisseurs, et des moyens de transport utilisés.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons au partage d'informations et à la négociation pour la coordination entre partenaires de l'entreprise virtuelle, et plus particulièrement aux flux d'informations assurant le support de la coordination.

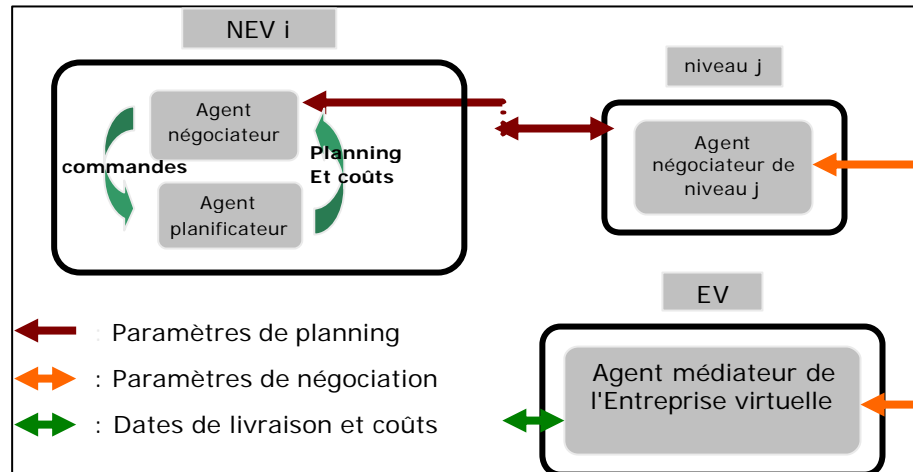
L'objectif de cette communication est ainsi de présenter des formalismes de négociation pour la coordination entre les différents partenaires de l'entreprise virtuelle en utilisant le formalisme des Statecharts pour la modélisation des comportements des agents, et ceci pour instaurer un planning de production et de livraison de toute la chaîne.

2. Description de l'architecture retenue et des mécanismes de coordination adoptés pour la planification de l'entreprise virtuelle

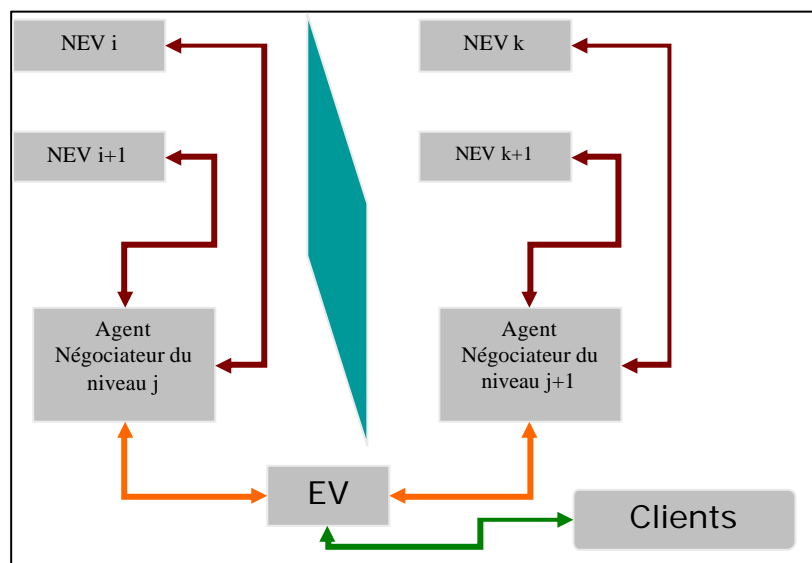
2.1. Architecture de l'entreprise virtuelle

L'architecture de l'entreprise virtuelle (**figure 1-b**) que nous proposons [OUZ03] est constituée de plusieurs niveaux et chaque niveau communique avec les autres via un agent négociateur pour ce niveau (**ANN**). Le premier niveau est en relation avec les clients de l'EV via l'agent médiateur (**AM**). Quant au dernier niveau, il est en relation avec les fournisseurs de la matière première. Chaque niveau ne communique qu'avec les niveaux adjacents via l'agent négociateur du niveau. C'est le cas qui se présente en général au niveau des chaînes logistiques.

Problème : Les nœuds de l'entreprise virtuelle (**NEV**) doivent collaborer et coordonner leurs activités afin d'aboutir à un planning faisable et au moindre coût.



a) Type d'agent



b) Architecture de l'entreprise virtuelle

Figure 1. Architecture de l'entreprise virtuelle : a) Type d'agent. b) Architecture

2.2. Les mécanismes de coordination entre partenaires

Comme moyen de coordination, nous avons adopté la négociation comme outil d'obtention de solutions acceptables par les NEV. De plus, nous supposons que les partenaires se sont au préalable mis d'accord sur des mécanismes favorisant la convergence de la négociation, comme ceux qui suivent.

2.2.1 Partage de l'information en temps réel

Les NEV du premier niveau reçoivent les informations des clients en terme de ventes. En effet, ceux-ci fournissent à la chaîne logistique leurs futures commandes avec des pourcentages d'incertitude qui sont fonction de l'échéance de la commande. Les prévisions sont transmises à tous les NEV de l'entreprise virtuelle. Nous supposons que des accords contractuels ont été signés d'une part entre les NEV du premier niveau et les clients et, d'autre part, entre les partenaires de l'entreprise virtuelle. Ainsi, nous supposons que l'information est toujours partagée avec un haut niveau de confiance [GAV99], [CACH01].

En plus du partage de l'information concernant les prévisions, nous supposons qu'en cas d'aléas de la production au sein d'un NEV, celui-ci doit en informer ses clients afin que ces derniers puissent déterminer des solutions au plus tôt, ce qui favorisera la continuité de la production de l'EV dans son ensemble.

2.2.2 La relation de partenariat gagnant-gagnant

Un aspect primordial du partenariat est que certains efforts de compétitivité soient faits ensemble. Un partage équitable des différents coûts est très utile pour atteindre des opportunités de coopération [KUL02]. Les partenaires travailleront ensemble pour profiter des avantages maximaux d'une EV. Chaque NEV doit pouvoir (selon son degré d'intelligence) répondre aux imprévus et aux changements de planning qui peuvent se produire. Par conséquent, les NEVs doivent pouvoir partager les surcoûts ou les bénéfices engendrés par le reste de l'EV.

2.3. Le processus de négociation entre partenaires de l'EV

Comme présenté par la **figure 1-a**, nous avons modélisé chaque NEV par deux agents : un agent négociateur (**AN**) et un agent planificateur (**AP**). Ces deux derniers communiquent entre eux par échange de messages et de documents. Par contre, l'AN peut entrer en négociation avec ses NEV clients ou fournisseurs, via l'agent négociateur du niveau. Une définition de base de la négociation est celle de [BUS92] : la négociation est le processus de communication d'un groupe d'agents afin d'aboutir à un accord mutuel accepté par toutes les parties. Par exemple, dans le domaine de la production, l'accord pourrait porter sur la qualité, les coûts ou les délais. Par conséquent, l'idée fondamentale derrière la négociation est d'atteindre un

consensus. La négociation peut être compétitive ou co-opérative selon le comportement des différents agents impliqués dans celle-ci [GRE97].

La stratégie générale de la négociation que nous proposons est basée sur une négociation coopérative. La négociation a lieu dès qu'un nœud ou un ensemble de nœud reçoit des commandes différentes de ce qu'il avait prévu. Le processus de planification et de négociation, tel que nous l'avons déjà présenté [OUZ03], se présente comme suit :

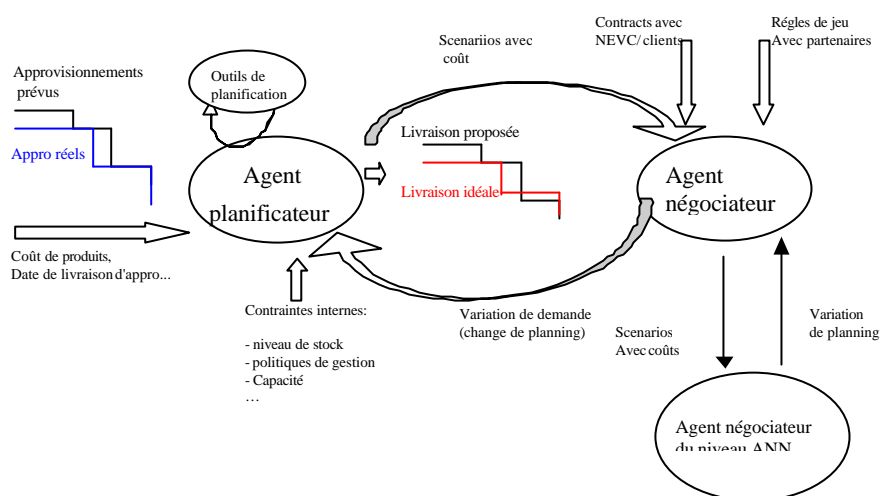


Figure 2. Le processus de planification et de négociation d'un NEV

3. Modélisation du processus de négociation au sein de l'EV

3.1. Les flux d'information

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes plus intéressés aux flux d'information qui forment le support de toute coordination. Les flux d'information sont partagés entre les différents agents constituant l'EV.

Le flux d'information entre les différents agents de l'EV regroupe les commandes initiales, les accords et des propositions.

Dans le cas où le NEV ne peut pas répondre aux demandes, son agent négociateur communique avec l'agent négociateur du niveau pour chercher des solutions.

Dans un premier temps, l'ANN cherche des solutions locales (pour son niveau). Par exemple, affectation d'un stock prévu pour un client à un autre qui a un besoin urgent. Et si le problème ne peut pas être résolu localement, un processus de négociation entre niveaux est déclenché. En fonction des propositions de chaque NEV, l'ANN propose de nouveaux paramètres en termes de coût, pénalités ou retards admissibles et archive toutes les propositions pour éviter des retours sur des solutions déjà jugées inacceptables.

A la fin d'un processus de négociation, si les niveaux n'arrivent pas à trouver de solutions satisfaisantes, l'AM décide et propose une solution qui satisfait le bénéfice global de l'EV et le bénéfice d'un nombre maximum de NEV.

En outre, dans notre modèle de planification de l'EV [OUZ03], nous supposons que la planification se fait par niveau ; en d'autres termes, un niveau ne peut pas négocier avec ses clients et ses fournisseurs en même temps. Pour cette raison, dans la suite nous ne parlerons que des propositions du niveau adjacent (**P_Nadj**).

Pour modéliser les différents comportements des agents ainsi que les différents messages échangés dans le système, nous utilisons le formalisme des Statecharts. Afin d'alléger les figures, nous avons dû utiliser des abréviations pour ce qui est des transitions entre états dont la liste est donnée en annexe à l'article.

3.2. Modélisation par les Statecharts

Les Statecharts de Harel sont des diagrammes d'état utilisés pour modéliser les différents stades que peuvent prendre des systèmes complexes réactifs soumis à des événements extérieurs et intérieurs, ainsi qu'à des contraintes liées au temps [HAR86], [SAH91]. Ils sont représentés par des graphes dans lesquels les rectangles arrondis correspondent à des états du système et les arcs à des transitions entre états représentant des actions du système.

3.2.1. Statechart de l'agent négociateur

L'agent négociateur est activé au moment où il reçoit soit : de nouvelles demandes, ou des propositions du niveau adjacent, ou une réponse de l'agent planificateur, ou des propositions de paramètres (coûts, pénalités, retards possibles sur certains produits) de l'agent négociateur de niveau, ou des propositions de l'agent médiateur.

Si la réponse de l'AP est un accord, alors il envoie un message d'accord (OK) au niveau adjacent concerné. Sinon, il leur envoie des propositions et se met en attente de la réponse.

Si le message est N_D (nouvelles demandes), P_ANN (proposition de paramètres données par l'ANN), P_Nadj (propositions du niveau adjacent) ou P_AM (propositions de l'agent médiateur), l'AN l'envoie à l'AP pour planification et étude des coûts et se met en attente de la réponse de l'agent concerné.

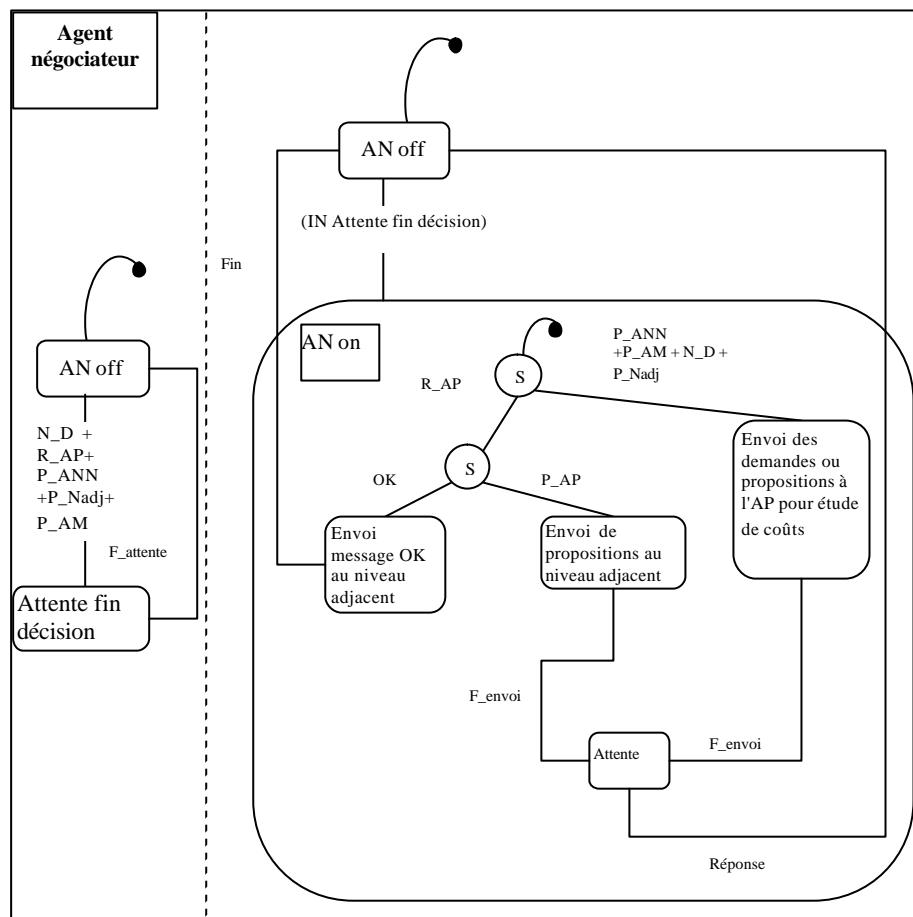


Figure 3. Statechart de l'agent négociateur

La réponse est soit celle de l'agent négociateur de niveau ou celle de l'agent planificateur, l'essentiel est que l'agent négociateur sorte de l'état attente dès qu'il reçoit une réponse.

3.2.2. Statechart de l'agent planificateur

L'état initial de l'agent planificateur est un état inactif. Dès l'arrivée de nouvelles commandes ou des propositions il devient actif. S'il s'agit de propositions de l'ANN ou de propositions du niveau adjacent, il étudie la faisabilité et les coûts des propositions. Si les propositions sont faisables, alors il envoie un accord à l'agent négociateur. Sinon, il introduit les propositions dans le planning et lance la planification. Si le planning est faisable, alors il envoie un accord. Sinon, il envoie

des propositions. S'il s'agit de nouvelles demandes, il passe à l'état planification. Enfin, s'il s'agit d'une proposition de l'agent médiateur, il envoie un message d'accord à l'agent négociateur. Ainsi, nous supposons que le processus de négociation prend fin dès que l'agent planificateur envoie le message d'accord.

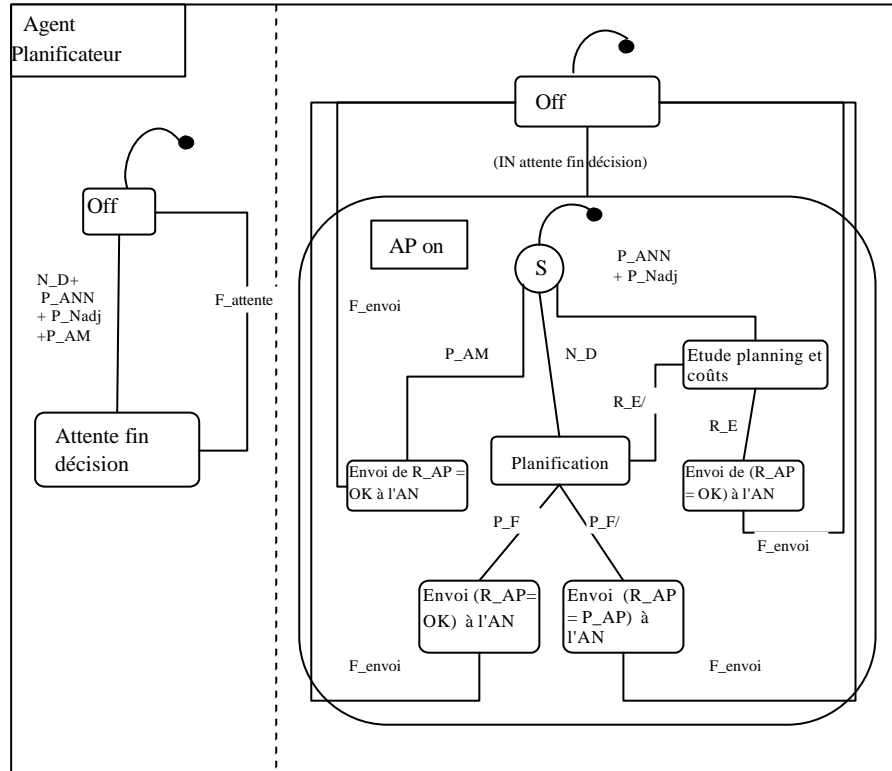


Figure 4. Statechart de l'agent planificateur

3.2.3. Statechart de l'agent négociateur de niveau

L'état initial de l'ANN est désactivé, mais il devient actif soit pour faire passer des messages entre niveaux (via l'agent médiateur), soit pour chercher des solutions pour les NEV de son niveau. Lorsqu'il s'agit des messages N_D ou P_{AM} ou d'un message d'un OK de l'Agent Négociateur, l'ANN joue le rôle de passerelle, tandis que lorsqu'il reçoit P_{Nadj} , il teste le compteur de nombre de propositions. Si le nombre de propositions reste inférieur à M (le nombre maximum d'aller-retour sur lequel les NEV se sont mis d'accord au préalable), alors il archive les propositions et il les envoie aux NEV concernés. Sinon, il envoie un message D_D (demande de prise de décision) à l'agent médiateur pour trouver une solution finale.

S'il s'agit d'un message type P_AP (proposition de planning donnée par l'AP du NEV), tout d'abord, il étudie les solutions locales possibles et propose les échéances avec minimum de coût pour le maximum de NEV. S'il n'arrive pas à construire des solutions locales, il envoie les propositions au niveau adjacent. Dans le cas d'un accord, l'ANN envoie un message d'accord au niveau adjacent. Après les envois que l'ANN effectue, il se met en attente des réponses qui arrivent de (s) nœud (s) concerné (s).

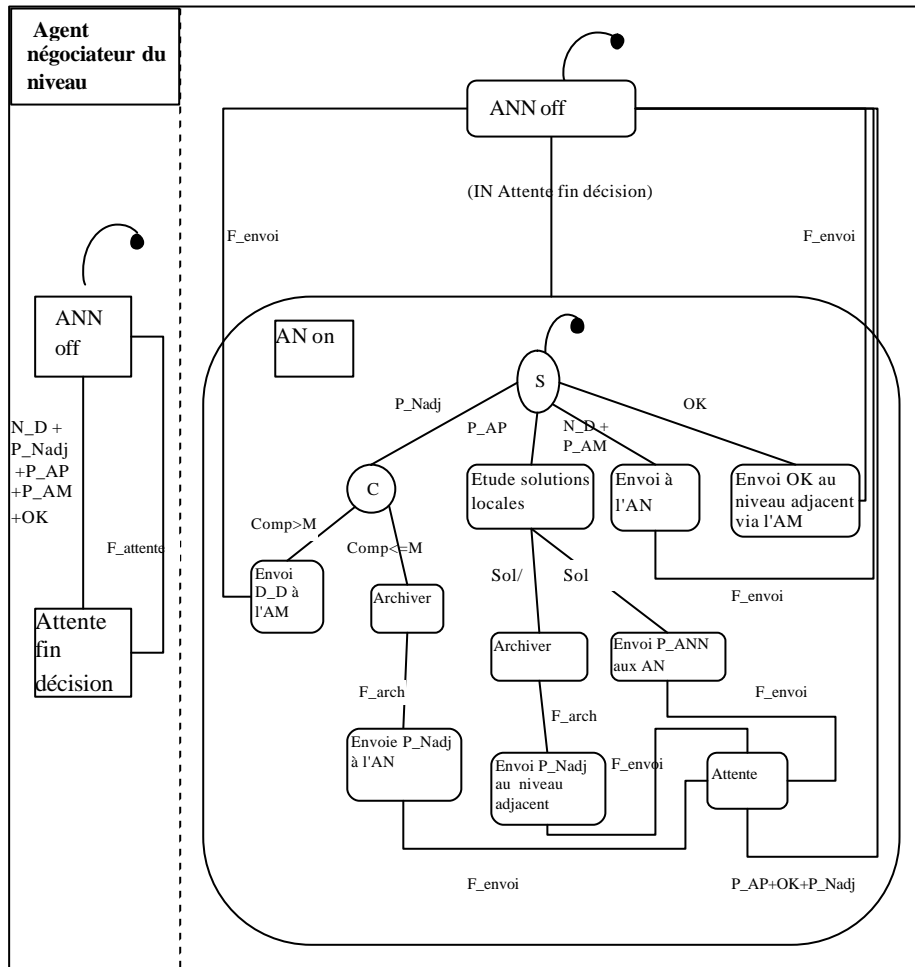


Figure 5. *Statechart de l'agent négociateur de niveau*

3.2.4- Statechart de l'agent médiateur

L'état initial de l'AM est désactivé. Il devient actif lorsqu'il reçoit des messages de type P_Nadj ou N_D ou D_D ou OK. S'il s'agit de P_Nadj, il l'archive et le transmet au niveau concerné, tandis que s'il s'agit d'un N_D ou OK, il le transmet au niveau concerné. Si le message est D_D, alors à partir de sa base de propositions, il choisit la proposition assurant le bénéfice global de l'EV et le bénéfice local pour le maximum d'agents et enfin il les envoie aux agents négociateurs des niveaux.

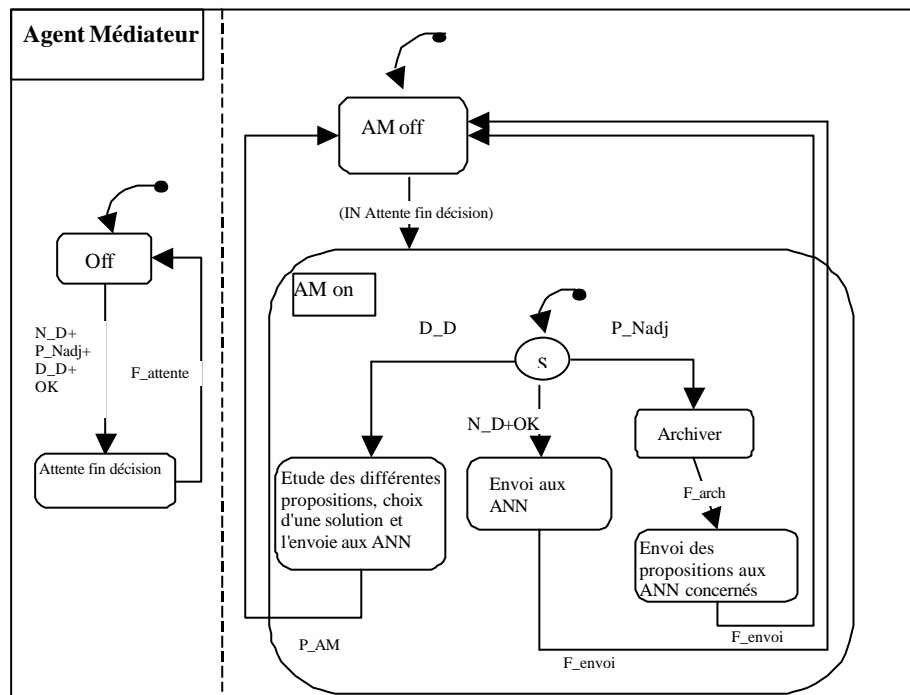


Figure 6. Statechart de l'agent médiateur

4. Mécanisme d'aide à la décision de chaque NEV

Dans le cas des nœuds du premier niveau, ceux qui sont en relation avec les clients de l'entreprise virtuelle via l'AM, à la réception d'une nouvelle commande, le NEV a les choix suivants en fonction des prévisions correspondant aux contrats :

- accepter pleinement la commande si les ordres par produit restent dans les fourchettes du contrat et correspondent aux prévisions de la production ;
- faire des propositions aux clients en retardant quelques produits et en anticipant d'autres si les ordres restent dans les fourchettes du contrat.

— si les commandes font dépasser les limites du contrat et en fonction des contraintes de production, un coût supplémentaire peut être introduit pour prendre en compte des coûts d'entreposage ou de sous-traitance ou d'heures supplémentaires ou d'heures d'intérim.

Dans le cas des nœuds internes à l'EV, comme nous l'avons déjà dit, la décision sera définie comme un processus itératif où différentes flexibilités de production et/ou de livraison seront utilisées tantôt par les NEV en amont et tantôt par les NEV en aval. Des propositions de planning seront associées à chaque composant et sont la base des négociations.

En effet, du fait que nous avons supposé que les partenaires de l'entreprise virtuelle utilisent des règles du jeu de type gagnant-gagnant, les pénalités entre partenaires n'auront pas de sens et seront remplacées par des partages des coûts qui peuvent être engendrés par un retard.

A cette étape, l'agent planificateur de chaque NEV doit disposer d'outils d'aide à la décision pour proposer des scénarios ou accepter les commandes [OUZ03], de même que les agents négociateurs de niveau et l'agent médiateur.

Conclusion

La planification de l'entreprise virtuelle reste à ce jour une tâche difficile du fait de la diversité de produits et donc des différentes stratégies de gestion de chaque entreprise. Ainsi, le succès de chaque chaîne logistique réside dans la capacité des partenaires à partager l'information et synchroniser leurs activités. Dans ce papier, nous avons opté pour la négociation comme moyen de coordination que nous avons formalisé à l'aide de diagrammes de type Statecharts. Les travaux futurs concerneront le développement d'autres outils d'aide à la décision que les agents peuvent utiliser pour prendre des décisions permettant d'atteindre les objectifs de l'entreprise virtuelle.

Une partie de ce travail est lié au projet GROWTH intitulé V-CHAIN financé par la Commission Européenne sur la conception et la gestion des entreprises virtuelles pour l'industrie manufacturière.

Bibliographie

- [BUS92] S. Bussmann, J. Muller, "A negotiation framework for cooperating agents", Proceedings of CKBS-SIG, Dake Centre, University of Keele, UK, 1992, p. 1-17.
- [CACH01] Cachon G.P., Larivière M.A. "Contracting to assure supply: how to share demand forecasts in a supply chain", *Management Science*, 47 (5), 2001, p. 629-647.
- [HAR86] D. Harel, "Statecharts: a visual formalism for complex systems", Department of Applied Mathematics, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel, 1986.

- [GRE97] S. Green, L. Hurst, N. Brenda, F. Somers, R. Evans, "Software agents: A review", Intelligent Agents, Group Report, 1997.
<http://www.cs.tcd.ie/research/groups/aig.iag/pubreview.zip>.
- [GAV99] S.Gavirneni, S.R.Kapuscinski, S.Tayur, "Value of information in capacitated supply chains", *Management Science*, 45, (11), 1999, 16-24.
- [KUL02] Kulmala H.I., Paranko J., Rauva E.U. "The role of cost management in network relationships", *International Journal of Production Economics*, 9 (7), 2002, p. 33-43.
- [MAK96] Makatsoris C., Leach N.P., Richards H.D., Ristic M., Besant C.B. "Addressing the planning and control gaps in semiconductor Virtual Enterprises", Proc. of the Conference on Integration in Manufacturing, Galway, Ireland, 1996, p 117-129.
- [OUZ03] L.Ouzizi, D.Anciaux, MC Portmann et F.Vernadat, "A model for co-operative planning within a virtual enterprise", International Conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM'03), Porto, Portugal, May 2003.
- [SAH91] Sahraoui, A.E.K. "Statecharts based approach for CIM control system specification and design", laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes du Centre National de la Recherche Scientifique LAAS-CNRS, Toulouse, 1991.

Annexe

Liste des abréviations utilisées dans les diagrammes statecharts :

abréviation	Signification message
N_D	Nouvelles demandes
R_AP	Réponse agent planificateur du NEV
OK	Message d'accord envoyé par l'AP du NEV
P_AP	Propositions de plannings données par l'AP
P_Nadj	Propositions de plannings données par le niveau adjacent
P_AM	Proposition donnée par l'agent médiateur
P_ANN	Propositions de paramètres données par l'ANN
F envoi	Fin d'envoi
R_E	Rapport de l'étude faisable
R_E/	Rapport étude non faisable
P_F	Résultat Planning faisable
P_F/	Résultat Planning non faisable
Comp	Compteur de propositions
F_arch	Fin archivage
sol	Solution possible
Sol/	Solution non possible
F_attente	Fin attente
In attente fin décision	Pour marquer la simultanéité des deux états (réception et étude)